

PATENT ABSTRACTS OF JAPAN

(11)Publication number : 2004-133389
 (43)Date of publication of application : 30.04.2004

(51)Int.CI.

G02B 6/287

(21)Application number : 2003-199269

(71)Applicant : FUJIKURA LTD

(22)Date of filing : 18.07.2003

(72)Inventor : OUCHI YASUHIRO
TANAKA TAIICHIRO

(30)Priority

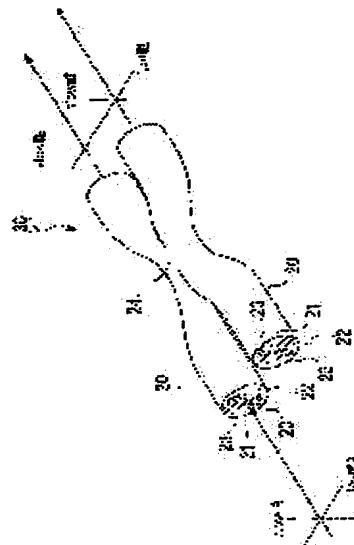
Priority number : 2002234981 Priority date : 12.08.2002 Priority country : JP

(54) POLARIZATION MAINTAINING OPTICAL FIBER COUPLER AND ITS MANUFACTURING METHOD

(57)Abstract:

PROBLEM TO BE SOLVED: To provide a polarization maintaining optical fiber coupler and its manufacturing method in which the manufacture is simplified and excess loss is reduced.

SOLUTION: In the polarization maintaining optical fiber coupler 30, the ratio of the diameter of a core 21/the diameter of a clad 22 or the ratio of the distance between stress applying parts 23, 23/the diameter of the clad 22 in at least one of the polarization maintaining optical fibers 20 constituting a welded and drawn part 24 is larger than the ratio of the diameter of the core 21/the diameter of the clad 22 or the distance between the stress applying parts 23, 23 or the ratio of the distance between the stress applying parts 23, 23/the diameter of the clad 22 on the part which does not constitute the welded and drawn part 24 of the polarization maintaining optical fibers 20, and the stress applying parts 23, 23 are surrounded by the clad 22 in the welded and drawn part 24. Therein, the polarization maintaining optical fibers in which the distance between the adjacent outer peripheries of the two stress applying parts 23, 23 is $\geq 20\mu\text{m}$ are used.



LEGAL STATUS

[Date of request for examination] 02.03.2004

[Date of sending the examiner's decision of rejection] 22.03.2006

[Kind of final disposal of application other than the examiner's decision of rejection or application converted registration]

[Date of final disposal for application]

[Patent number]

[Date of registration]

[Number of appeal against examiner's decision
of rejection]

[Date of requesting appeal against examiner's
decision of rejection]

[Date of extinction of right]

Copyright (C); 1998,2003 Japan Patent Office

(19) 日本国特許庁(JP)

(12) 公開特許公報(A)

(11) 特許出願公開番号

特開2004-133389

(P2004-133389A)

(43) 公開日 平成16年4月30日(2004.4.30)

(51) Int.CI.⁷

G02B 6/287

F 1

G02B 6/28

テーマコード(参考)

A

審査請求 未請求 請求項の数 9 O L (全 17 頁)

(21) 出願番号 特願2003-199269 (P2003-199269)
 (22) 出願日 平成15年7月18日 (2003.7.18)
 (31) 優先権主張番号 特願2002-234981 (P2002-234981)
 (32) 優先日 平成14年8月12日 (2002.8.12)
 (33) 優先権主張国 日本国 (JP)

(71) 出願人 000005186
 株式会社フジクラ
 東京都江東区木場1丁目5番1号
 (74) 代理人 100064908
 弁理士 志賀 正武
 100108578
 弁理士 高橋 詔男
 100089037
 弁理士 渡邊 隆
 100101465
 弁理士 青山 正和
 大内 康弘
 千葉県佐倉市六崎1440番地 株式会社
 フジクラ佐倉事業所内

最終頁に続く

(54) 【発明の名称】偏波保持光ファイバクラップおよびその製造方法

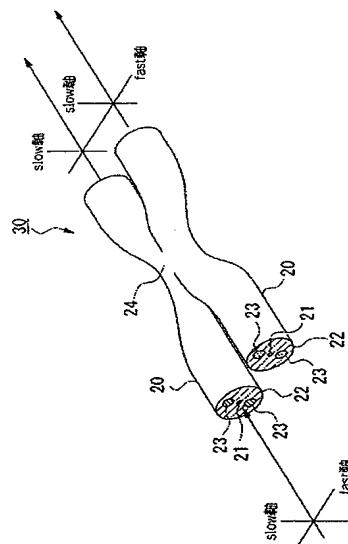
(57) 【要約】

【課題】製造が容易でかつ過剰損失を低減した偏波保持光ファイバクラップおよびその製造方法を提供する。

【解決手段】融着延伸部24をなす偏波保持光ファイバ20の少なくとも1本における(コア21の径)/(クラッド22の径)または(応力付与部23、23の間の距離)/(クラッド22の径)が、偏波保持光ファイバ20の融着延伸部24をなさない部分における(コア21の径)/(クラッド22の径)または(応力付与部23、23の間の距離)/(クラッド22の径)よりも大きく、かつ、融着延伸部24において応力付与部23、23がクラッド22に包囲されている偏波保持光ファイバクラップ30を提供する。2つの応力付与部23、23の近接する外周間の距離が20μm以上の偏波保持光ファイバを用いる。

【選択図】

図2



【特許請求の範囲】**【請求項 1】**

コアを囲むクラッド内に、コアに対して対称に配置された2つの応力付与部を有する複数本の偏波保持光ファイバが並列に配され、該複数本の偏波保持光ファイバの長手方向の一部が融着延伸されてなる融着延伸部が形成された偏波保持光ファイバカプラであって、前記融着延伸部をなす前記偏波保持光ファイバの少なくとも1本における(コア径)／(クラッド径)、または、(応力付与部間距離)／(クラッド径)は、前記偏波保持光ファイバの前記融着延伸部をなさない部分における(コア径)／(クラッド径)、または、(応力付与部間距離)／(クラッド径)よりも大きく、

かつ、前記融着延伸部において、前記応力付与部が前記クラッドに包囲されていることを特徴とする偏波保持光ファイバカプラ。 10

【請求項 2】

前記2つの応力付与部の近接する外周間の距離が $20\mu m$ 以上である偏波保持光ファイバを用いることを特徴とする請求項1に記載の偏波保持光ファイバカプラ。

【請求項 3】

請求項1または2に記載の偏波保持光ファイバカプラは、偏波ビームコンバイナまたは偏波ビームスプリッタであることを特徴とする偏波保持光ファイバカプラ。

【請求項 4】

請求項1または2に記載の偏波保持光ファイバカプラは、偏波保持型波長分割多重カプラであることを特徴とする偏波保持光ファイバカプラ。 20

【請求項 5】

前記偏波保持光ファイバがPANDA型光ファイバであることを特徴とする請求項1ないし4のいずれかに記載の偏波保持光ファイバカプラ。

【請求項 6】

前記偏波保持光ファイバがBowl-Tie型光ファイバであることを特徴とする請求項1ないし4のいずれかに記載の偏波保持光ファイバカプラ。

【請求項 7】

コアを囲むクラッド内に、コアに対して対称に配置された2つの応力付与部を有する複数本の偏波保持光ファイバが並列に配され、該複数本の偏波保持光ファイバの長手方向の一部が融着延伸されてなる融着延伸部を形成する偏波保持光ファイバカプラの製造方法において、 30

前記偏波保持光ファイバのうち少なくとも1本の長手方向の一部におけるクラッド外周部を、前記応力付与部を露出することなく除去して、該偏波保持光ファイバを細径化し、当該細径化した部分を融着延伸して前記融着延伸部を形成することを特徴とする偏波保持光ファイバカプラの製造方法。

【請求項 8】

前記2つの応力付与部の近接する外周間の距離が $20\mu m$ 以上である偏波保持光ファイバを用いることを特徴とする請求項7に記載の偏波保持光ファイバカプラの製造方法。

【請求項 9】

前記偏波保持光ファイバの細径化する部分の長さを $40mm$ 以下とすることを特徴とする請求項7または8に記載の偏波保持光ファイバカプラの製造方法。 40

【発明の詳細な説明】**【0001】****【発明の属する技術分野】**

本発明は、偏波保持光ファイバカプラに関し、特に融着延伸部の融着、延伸工程において発生する損失の低減を図った偏波保持光ファイバカプラに関するものである。

【0002】**【従来の技術】**

偏波保持光ファイバとしては種々のものが提案されており、代表的なものとしてPANDA型光ファイバ(Polarization maintaining AND Abs 50

option reducing fiber) が知られている。

図18は、PANDA型光ファイバの一例を示す断面図である。このPANDA型光ファイバ10は、中心に設けられたコア11と、このコア11の周囲に、このコア11と同心円状に設けられ、かつこのコア11よりも低屈折率のクラッド12と、このクラッド12内に、コア11を中心に対称配置され、かつこのクラッド12よりも低屈折率の断面円形の2つの応力付与部13、13とから構成されている。また、このPANDA型光ファイバ10の外径は約125μmである。

このPANDA型光ファイバ10は細径化処理が施されておらず、2つの応力付与部13、13の近接する外周間の距離は20μm以下となっている。

【0003】

10

応力付与部13は、クラッド12よりも大きな熱膨張係数を有している。そのため、光ファイバ母材を溶融、線引きして得られたPANDA型光ファイバ10が冷却される過程で、このPANDA型光ファイバ10の断面において応力付与部13に起因する歪みを生じる。

そして、この歪みはコア11に対して異方性歪みを発生させる。その結果、光を構成する2つの直交する偏波をX偏波(slow偏波)、Y偏波(fast偏波)とすると、X偏波の伝搬定数とY偏波の伝搬定数が異なる値となり、当然、これらの偏波の電磁界の分布も異なるものとなる。その結果、X偏波とY偏波が保存された状態で伝搬する特性が得られる。

【0004】

20

このようなPANDA型光ファイバ10などの偏波保持光ファイバを用いて作製された光カプラが、偏波保持光ファイバカプラである。特に、融着延伸型の偏波保持光ファイバカプラは、外部の光ファイバと低損失で接続することができる上に、製造性、信頼性、高光パワー耐性などの点において優れていることが知られている。このような偏波保持光ファイバカプラは、光ファイバセンサ、あるいはコヒーレント光通信用として有効な光学部品である。

【0005】

図19は、通常のPANDA型光ファイバを用いて作製した偏波保持光ファイバカプラの一例を示す斜視図である。

この偏波保持光ファイバカプラ15は、2本のPANDA型光ファイバ10、10を必要に応じて、その表面に設けられたプラスチックなどからなる被覆層の一部を除去した後、各々のslow偏波軸が平行になるように整合させて並列させ、これらのPANDA型光ファイバ10、10の途中のクラッド12、12を接触させ、加熱、溶融するとともに、その長さ方向に延伸することによって融着延伸部(光結合部)14を形成し、その後、必要に応じて融着延伸部14を、ここを保護する保護ケース(図示略)などに収容したものである(例えば、特許文献1参照。)。なお、slow偏波軸とは、各々のPANDA型光ファイバ10において、応力付与部13、13の中心を通る直線をいう。

【0006】

30

このような偏波保持光ファイバカプラの種類には、特定の波長の光を分波するものや、異なる波長の光を合分波するもの(例えば、偏波保持WDM(Wavelength Division Multiplexing/波長分割多重)カプラなど)、また、2つの直交する偏波成分を合分波するもの(例えば、偏波ビームコンバイナ、偏波ビームスプリッタなど)などがある。

【0007】

40

【特許文献1】

特開2002-323637号公報

【0008】

【発明が解決しようとする課題】

このような偏波保持光ファイバの融着延伸によって製造された偏波保持光ファイバカプラには、その製造過程において、融着延伸部において過剰損失(融着延伸部で発生する損失

50

) が発生し易いという問題があった。この過剰損失が発生し易いという問題は、P A N D A型光ファイバを用いた偏波保持光ファイバカプラのみならず、B o w - T i e型光ファイバなど、他の偏波保持光ファイバを用いた偏波保持光ファイバカプラにおいても同様に発生していた。

この過剰損失を小さくするための方法としては、特許文献1に記載されているように、光ファイバカプラの光結合度と過剰損失をモニタしながら、過剰損失が最小となるように製造条件を調整し、偏波保持光ファイバカプラを製造する方法などがある。

【0009】

しかしながら、偏波保持光ファイバの融着延伸の途中で、一旦、過剰損失が増大してしまうと、偏波保持光ファイバカプラの過剰損失の波長依存性が大きくなってしまい、この偏波保持光ファイバカプラを使用波長帯域が広い用途へ適用することは困難であった。また、所望の結合特性を得るために、過剰損失が最小となるように製造条件を調整するという作業は、生産性を向上させる妨げとなっていた。10

【0010】

本発明は、前記事情に鑑みてなされたもので、製造が容易でかつ過剰損失を低減した偏波保持光ファイバカプラおよびその製造方法を提供することを課題とする。

【0011】

【課題を解決するための手段】

本発明は、上記課題を解決するために、コアを囲むクラッド内に、コアに対して対称に配置された2つの応力付与部を有する複数本の偏波保持光ファイバが並列に配され、該複数本の偏波保持光ファイバの長手方向の一部が融着延伸されてなる融着延伸部が形成された偏波保持光ファイバカプラであって、前記融着延伸部をなす前記偏波保持光ファイバの少なくとも1本における(コア径)/(クラッド径)、または、(応力付与部間距離)/(クラッド径)は、前記偏波保持光ファイバの前記融着延伸部をなさない部分における(コア径)/(クラッド径)、または、(応力付与部間距離)/(クラッド径)よりも大きく、かつ、前記融着延伸部において、前記応力付与部が前記クラッドに包囲されている偏波保持光ファイバカプラを提供する。20

【0012】

上記構成の偏波保持光ファイバカプラにおいて、前記2つの応力付与部の近接する外周間の距離が $20\mu m$ 以上である偏波保持光ファイバを用いることが好ましい。30

【0013】

上記偏波保持光ファイバカプラは、偏波ビームコンバイナまたは偏波ビームスプリッタとすることもできる。

【0014】

上記偏波保持光ファイバカプラは、偏波保持型波長分割多重カプラとすることもできる。

【0015】

上記構成の偏波保持光ファイバカプラにおいて、前記偏波保持光ファイバがP A N D A型光ファイバであることが好ましい。

【0016】

上記構成の偏波保持光ファイバカプラにおいて、前記偏波保持光ファイバがB o w - T i e型光ファイバであることが好ましい。40

【0017】

本発明は、コアを囲むクラッド内に、コアに対して対称に配置された2つの応力付与部を有する複数本の偏波保持光ファイバが並列に配され、該複数本の偏波保持光ファイバの長手方向の一部が融着延伸されてなる融着延伸部を形成する偏波保持光ファイバカプラの製造方法において、前記偏波保持光ファイバのうち少なくとも1本の長手方向の一部におけるクラッド外周部を、前記応力付与部を露出することなく除去して、該偏波保持光ファイバを細径化し、当該細径化した部分を融着延伸して前記融着延伸部を形成する偏波保持光ファイバカプラの製造方法を提供する。

【0018】

50

上記偏波保持光ファイバカプラの製造方法において、前記2つの応力付与部の近接する外周間の距離が $20\mu m$ 以上である偏波保持光ファイバを用いることが好ましい。

【0019】

上記偏波保持光ファイバカプラの製造方法において、前記偏波保持光ファイバの細径化する部分の長さを $40mm$ 以下とすることが好ましい。

【0020】

【発明の実施の形態】

本発明について説明するにあたり、偏波保持光ファイバカプラにおいて過剰損失が大きくなる理由について簡単に説明する。

図1は、PANDA型光ファイバの2つの応力付与部を結んだ軸(slow軸)方向の屈折率分布を示す図である。¹⁰

融着延伸されていないPANDA型光ファイバでは、図1に示すように、入射された光の基本モードは、コア内を伝搬する。

【0021】

このようなPANDA型光ファイバを2本用いて、これらを加熱、融着延伸して偏波保持光ファイバカプラを作製する。融着延伸部におけるPANDA型光ファイバは細径化されるため、コア径も細くなり、モードフィールド径も小さくなるので、コアに閉じ込められていた光は徐々にクラッドに染み出していく。この染み出した光を、完全に他方のPANDA型光ファイバに結合することができれば、過剰損失が上がることはない。

【0022】

しかし、PANDA型光ファイバの応力付与部が光の結合を妨げ、電界分布に異方性を生じさせるため、過剰損失が発生する。ここで、「応力付与部が光の結合を妨げる」とは、応力付与部はクラッドに比べて低屈折率領域なので、その部分には光が入り込めず、ある異方性をもって光が結合するということを意味している。

【0023】

このように偏波保持光ファイバカプラの過剰損失が大きくなり易いのは、クラッド内部に低屈折率領域の応力付与部が存在するためである。

上述のように延伸途中に過剰損失が大きくなるのは、PANDA型光ファイバに限らず、Bow-Tie型光ファイバなどの他の偏波保持光ファイバにおいても同様である。

【0024】

以下、本発明を詳しく説明する。

図2は、本発明の偏波保持光ファイバカプラの一例を示す斜視図である。

この例の偏波保持光ファイバカプラ30は、2本のPANDA型光ファイバ20、20を必要に応じて、その表面に設けられたプラスチックなどからなる被覆層の一部を除去した後、各々のslow偏波軸が平行になるように整合させて並列させ、これらのPANDA型光ファイバ20、20の途中のクラッド22、22を接触させ、加熱、溶融するとともに、その長さ方向に延伸することによって融着延伸部(光結合部)24を形成し、その後、必要に応じて融着延伸部24を保護する保護ケース(図示略)などに収容したものである。なお、slow偏波軸とは、各々のPANDA型光ファイバ20において、応力付与部23、23の中心を通る直線をいう。

本発明の偏波保持光ファイバカプラ30においては、PANDA型光ファイバ20の一部が細径化され、この細径化した部分で融着延伸部24を形成している。

【0025】

この細径化された部分を有するPANDA型光ファイバ20は、2つの応力付与部23、23の中心を結んだ軸上において、2つの応力付与部23、23の外方のクラッド22の厚みが薄くなるように、その長手方向の一部が細径化されたものである。

【0026】

この細径化された部分で融着延伸部を形成するので、融着延伸部24をなすPANDA型光ファイバ20、20の少なくとも1本における(コア21の径)／(クラッド22の径)、または、(2つの応力付与部23、23の間の距離)／(クラッド22の径)は、P⁵⁰

A N D A型光ファイバ20、20の融着延伸部24をなさない部分における（コア21の径）／（クラッド22の径）、または、（2つの応力付与部23、23の間の距離）／（クラッド22の径）よりも大きいことが好ましい。

【0027】

P A N D A型光ファイバ20の長手方向の一部を細径化する方法としては、クラッド22をフッ酸によりエッチングして除去する方法、クラッド22を研磨する方法などが用いられる。この際、細径化された部分のクラッド22は応力付与部23、23を包囲して、応力付与部23、23が露出していないことが好ましい。

【0028】

エッチングや研磨などにより細径化したP A N D A型光ファイバ20の応力付与部23、23がクラッド22の表面に露出すると、P A N D A型光ファイバ20の偏波保持能力が著しく低下し、P A N D A型光ファイバ20の有する偏波クロストークの値が劣化してしまう。

また、P A N D A型光ファイバ20の機械的な強度も劣化してしまっため、応力付与部23、23の外方には、ある程度、薄膜のクラッド22が残存していることが好ましい。

【0029】

一方、P A N D A型光ファイバ20の応力付与部23、23の外方のクラッド22の厚みが十分に厚いと、機械的信頼性は十分に確保できるが、P A N D A型光ファイバ20を融着延伸して融着延伸部を形成すると、2本のP A N D A型光ファイバ20のコア22間の距離が大きくなり、その分、P A N D A型光ファイバ20の応力付与部23によって光の結合が妨げられやすくなるので、過剰損失を生じる。

【0030】

また、P A N D A型光ファイバ20では、2つの応力付与部23、23の中心を結んだ軸上において、2つの応力付与部23、23の外方のクラッド22の厚みは、 $10\text{ }\mu\text{m}$ 以下であることが好ましい。

2つの応力付与部23、23の中心を結んだ軸上において、2つの応力付与部23、23の外方のクラッド22の厚みが $10\text{ }\mu\text{m}$ を超えると、P A N D A型光ファイバ20の機械的強度は十分に確保できるが、P A N D A型光ファイバ20を融着延伸して融着延伸部24を形成すると、過剰損失を生じ易くなる。

【0031】

さらに、P A N D A型光ファイバ20では、2つの応力付与部23、23の中心を結んだ軸上における2つの応力付与部23、23の近接する外周間の距離が $20\text{ }\mu\text{m}$ 以上であることが好ましく、 $22\text{ }\mu\text{m}$ 以上がより好ましい。

【0032】

2つの応力付与部23、23の近接する外周間の距離が $20\text{ }\mu\text{m}$ 未満では、P A N D A型光ファイバ20をエッチング法などにより細径化するのに必要な時間が長くなる。一方、2つの応力付与部23、23の近接する外周間の距離が $20\text{ }\mu\text{m}$ 以上であれば、細径化される前のP A N D A型光ファイバ20においても、上述の2つの応力付与部23、23の外方のクラッド22の厚みが薄いので、P A N D A型光ファイバ20を細径化するのに必要な時間が短くて済むから、作業時間を大幅に短縮できるという利点がある。

【0033】

ここで、応力付与部間隔（2つの応力付与部の近接する外周間の距離）の異なる3水準のP A N D A型光ファイバを2本ずつ用意して、 1550 nm 帯で利用できる1%P A N D Aカプラを作製した時の平均挿入損失を測定した結果を図3に示す。このとき、応力付与部の外方のクラッドの厚みは $5\text{ }\mu\text{m}$ となるように統一した。図3から、応力付与部間隔が $20\text{ }\mu\text{m}$ を超えると、平均挿入損失は約 0.2 dB まで抑えることができる。また、約 $22\text{ }\mu\text{m}$ 以上まで応力付与部間隔を広げると、挿入損失を約 0.15 dB まで抑えることができる。

【0034】

そして、P A N D A型光ファイバ20では、その外径を細径化する長さは 40 mm 以下で

10

20

30

40

50

あることが好ましく、実用的には5mm～30mmである。PANDA型光ファイバ20を細径化する長さが40mmを超えると、PANDA型光ファイバ20の機械的強度が著しく低下してしまう。

【0035】

ここで、図4は、細径化する長さを変化させ、光ファイバカプラを作製したときの平均破断強度を示している。このとき、PANDA型光ファイバの外径を90μmまで細径化している。PANDA型光ファイバを細径化する長さが40mmを超えると、カプラの平均破断強度は、著しく低下していることが分かる。また、PANDA型光ファイバを細径化する長さが40mmを超えると、偏波保持光ファイバカプラを作製する際の作業性が悪くなる上に、偏波保持光ファイバカプラの大きさも大きくなってしまう。

10

【0036】

また、この例の偏波保持光ファイバカプラ30は、PANDA型光ファイバ20のs10w軸方向の偏波および/またはfast軸方向の偏波の結合度を制御し、一方の偏波の結合度を0%、他方の偏波の結合度を100%とすると、偏波ビームコンバイナまたは偏波ビームスプリッタとしても動作する。このように、一方の偏波の結合度を0%、他方の偏波の結合度を100%とすると、入射ポート1からs10w偏波を入射し、もう一方の入射ポート2からfast偏波を入射した時、1つの出射ポートからs10w偏波とfast偏波が合波されて出力され、偏波ビームコンバイナとして作用する。また、1つの入射ポートからs10w偏波とfast偏波を同時に入射、または円偏光を入射すると、それぞれの出射ポートからはs10w偏波とfast偏波に分かれて出力され、偏波ビームスプリッタとして動作する。

20

【0037】

さらに、偏波保持光ファイバカプラ30は、PANDA型光ファイバ20のs10w軸方向の偏波および/またはfast軸方向の偏波の結合度を制御し、信号光で使用されるs10w軸方向の偏波の結合度を100%、励起光で使用される波長のs10w軸方向の偏波および/またはfast軸方向の結合度を0%とすれば、偏波保持型波長多重カプラWDMとして動作する。例えば、1550nmのfast偏波を100%他方のファイバに結合させ、980nmの励起光の結合度を0%に抑えれば、偏波保持WDMカプラを実現できる。

これらの光部品を作製する際にも、偏波保持光ファイバの融着延伸によって、過剰損失が増加することはない。

30

【0038】

なお、この例の偏波保持光ファイバカプラ30では、偏波保持光ファイバとして、PANDA型光ファイバ20を用いた例を示したが、本発明の偏波保持光ファイバカプラはこれに限定されるものではなく、偏波保持光ファイバとして、Bow-Tie型光ファイバを用いることもできる。そして、Bow-Tie型光ファイバを用いても、PANDA型光ファイバを用いた場合と同様の構造を有する偏波保持光ファイバカプラを作製することができる。

また、この例の偏波保持光ファイバカプラ30では、2本のPANDA型光ファイバ20を用いた例を示したが、本発明の偏波保持光ファイバカプラはこれに限定されるものではない。本発明の偏波保持光ファイバカプラは、3本以上の偏波保持光ファイバの長手方向の一部が融着延伸されてなる融着延伸部が形成された偏波保持光ファイバカプラであってもよい。

40

【0039】

このように、本発明の偏波保持光ファイバカプラは、偏波保持光ファイバのクラッドの一部をエッチング法や研磨法により細径化し、かつ偏波保持光ファイバの細径化した部分で融着延伸部を形成することにより、偏波保持光ファイバの延伸過程において過剰損失が増加することなく、優れた光学特性を有するものとなる。また、融着延伸部を形成する偏波保持光ファイバが細径化されていても、本発明の偏波保持光ファイバカプラの偏波クロストークは、従来の偏波保持光ファイバカプラと遜色ない値を得ることができる。

50

【0040】

以下、実施例により本発明をさらに具体的に説明するが、本発明は以下の実施例に限定されるものではない。

(実施例1)

外径約 $125\mu\text{m}$ のPANDA型光ファイバをフッ酸によるエッチング法などにより細径化処理し、図5(a)に示すようなPANDA型光ファイバ20を得た。PANDA型光ファイバ20は、外径が約 $95\mu\text{m}$ 、2つの応力付与部23、23の外径が約 $36\mu\text{m}$ 、2つの応力付与部23、23の中心を結んだ軸上における応力付与部23、23の近接する外周間の距離が約 $19\mu\text{m}$ 、2つの応力付与部23、23の中心を結んだ軸上における応力付与部23、23の外方のクラッド22の厚みが約 $2\mu\text{m}$ であった。10

【0041】

このPANDA型光ファイバ20を2本用い、必要に応じて、その表面に設けられたプラスチックなどからなる被覆層の一部を除去した後、各々の各偏波軸(slow軸、fast軸)が平行になるように整合させて並列させ、これらのPANDA型光ファイバ20、20の細径化処理された部分のクラッド22、22を接触させ、加熱、溶融するとともに、その長さ方向に延伸することによって融着延伸部を形成し、波長 1550nm における分岐比が50%の偏波保持光ファイバカプラを得た。20

【0042】

この偏波保持光ファイバカプラのslow軸方向の光の結合度または過剰損失と、PANDA型光ファイバ20の延伸長との関係を図6に示す。20

図6の結果から、slow軸方向の偏波が50%結合するまで、過剰損失がほとんど増加しないことが確認された。

この実施例1では、波長 1550nm における分岐比が50%の偏波保持光ファイバカプラを一例としたが、実施例1と同様の構成の偏波保持光ファイバカプラで、あらゆる結合度の偏波保持光ファイバカプラでも同様の傾向を示した。また、 1550nm 以外の波長範囲における偏波保持光ファイバカプラでも同様の傾向を示した。

【0043】**(比較例1)**

図5(b)に示すような、細径化処理を施さないPANDA型光ファイバ10を用意した。30 PANDA型光ファイバ10は、外径が約 $125\mu\text{m}$ 、2つの応力付与部13、13の外径が約 $36\mu\text{m}$ 、2つの応力付与部13、13の中心を結んだ軸上における応力付与部13、13の近接する外周間の距離が約 $19\mu\text{m}$ 、2つの応力付与部13、13の中心を結んだ軸上における応力付与部13、13の外方のクラッド12の厚みが約 $17\mu\text{m}$ であった。

【0044】

このPANDA型光ファイバ10を2本用い、必要に応じて、その表面に設けられたプラスチックなどからなる被覆層の一部を除去した後、各々の各偏波軸(slow軸、fast軸)が平行になるように整合させて並列させ、これらのPANDA型光ファイバ10、10の被覆層の一部が除去された部分のクラッド12、12を接触させ、加熱、溶融するとともに、その長さ方向に延伸することによって融着延伸部を形成し、波長 1550nm における分岐比が50%の偏波保持光ファイバカプラを得た。40

【0045】

この偏波保持光ファイバカプラのslow軸方向の光の結合度または過剰損失と、PANDA型光ファイバ10の延伸長との関係を図7に示す。

図7の結果から、2つの応力付与部13、13の中心を結んだ軸上における応力付与部13、13の外方のクラッド12の厚みが厚いと、PANDA型光ファイバ10の延伸に伴って、過剰損失が徐々に増加することが確認された。このように、細径化処理を施さないPANDA型光ファイバ10を使用した場合では、過剰損失の増加を抑制することができなかった。

このようにして作製した波長 1550nm における分岐比が50%の偏波保持光ファイバ50

カプラの光学特性を図8 (a) に示す。図8 (b) は、この例で作製した偏波保持光ファイバカプラの模式図である。

【0046】

(実施例2)

外径約 $125\mu\text{m}$ のPANDA型光ファイバをフッ酸によるエッチング法などにより細径化処理し、図9 (a) に示すようなPANDA型光ファイバ20を得た。PANDA型光ファイバ20は、外径が約 $105\mu\text{m}$ 、2つの応力付与部23、23の外径が約 $36\mu\text{m}$ 、2つの応力付与部23、23の中心を結んだ軸上における応力付与部23、23の近接する外周間の距離が約 $30\mu\text{m}$ 、2つの応力付与部23、23の中心を結んだ軸上における応力付与部23、23の外方のクラッド22の厚みが約 $2\mu\text{m}$ であった。10

【0047】

このPANDA型光ファイバ20を2本用い、必要に応じて、その表面に設けられたプラスチックなどからなる被覆層の一部を除去した後、各々の各偏波軸(slow軸、fast軸)が平行になるように整合させて並列させ、これらのPANDA型光ファイバ20、20の細径化処理された部分のクラッド22、22を接触させ、加熱、溶融するとともに、その長さ方向に延伸することによって融着延伸部を形成し、波長 1550nm における分岐比が50%の偏波保持光ファイバカプラを得た。

【0048】

この偏波保持光ファイバカプラのslow軸方向の光の結合度または過剰損失と、PANDA型光ファイバ20の延伸長との関係を図10に示す。20

図10の結果から、slow軸方向の偏波が50%結合するまで、過剰損失がほとんど増加しないことが確認された。

この実施例2では、波長 1550nm における分岐比が50%の偏波保持光ファイバカプラを一例としたが、実施例2と同様の構成の偏波保持光ファイバカプラで、あらゆる結合度の偏波保持光ファイバカプラでも同様の傾向を示した。また、 1550nm 以外の波長範囲における偏波保持光ファイバカプラでも同様の傾向を示した。

【0049】

このようにして作製した波長 1550nm における分岐比が50%の偏波保持光ファイバカプラの光学特性を図11 (a) に示す。図11 (b) は、この例で作製した偏波保持光ファイバカプラの模式図である。30

比較例1の偏波保持光ファイバカプラの光学特性を示した図8 (a) と比較しても、低損失であることが確認された。

【0050】

(比較例2)

図9 (b) に示すような、細径化処理を施さないPANDA型光ファイバ10を用意した。PANDA型光ファイバ10は、外径が約 $125\mu\text{m}$ 、2つの応力付与部13、13の外径が約 $36\mu\text{m}$ 、2つの応力付与部13、13の中心を結んだ軸上における応力付与部13、13の近接する外周間の距離が約 $30\mu\text{m}$ 、2つの応力付与部13、13の中心を結んだ軸上における応力付与部13、13の外方のクラッド12の厚みが約 $10\mu\text{m}$ であった。40

【0051】

このPANDA型光ファイバ10を2本用い、必要に応じて、その表面に設けられたプラスチックなどからなる被覆層の一部を除去した後、各々の各偏波軸(slow軸、fast軸)が平行になるように整合させて並列させ、これらのPANDA型光ファイバ10、10の被覆層の一部が除去された部分のクラッド12、12を接触させ、加熱、溶融するとともに、その長さ方向に延伸することによって融着延伸部を形成し、波長 1550nm における分岐比が50%の偏波保持光ファイバカプラを得た。

【0052】

この偏波保持光ファイバカプラのslow軸方向の光の結合度または過剰損失と、PANDA型光ファイバ10の延伸長との関係を図12に示す。50

図12の結果から、2つの応力付与部13、13の中心を結んだ軸上において、2つの応力付与部13、13の外方のクラッドの厚みが厚いと、PANDA型光ファイバ10の延伸に伴って、過剰損失が多少増加することが確認された。

【0053】

(実施例3)

外径約 $125\mu\text{m}$ のPANDA型光ファイバをフッ酸によるエッチング法などにより細径化処理し、図9(a)に示すようなPANDA型光ファイバ20を得た。PANDA型光ファイバ20は、外径が約 $105\mu\text{m}$ 、2つの応力付与部23、23の外径が約 $36\mu\text{m}$ 、2つの応力付与部23、23の中心を結んだ軸上における応力付与部23、23の近接する外周間の距離が約 $30\mu\text{m}$ 、2つの応力付与部23、23の中心を結んだ軸上における応力付与部23、23の外方のクラッド22の厚みが約 $2\mu\text{m}$ であった。¹⁰

【0054】

このPANDA型光ファイバ20を2本用い、必要に応じて、その表面に設けられたプラスチックなどからなる被覆層の一部を除去した後、各々の各偏波軸(slow軸、fast軸)が平行になるように整合させて並列させ、これらのPANDA型光ファイバ20、20の細径化処理された部分のクラッド22、22を接触させ、加熱、溶融するとともに、その長さ方向に延伸することによって融着延伸部を形成し、波長 1480nm における偏波ビームコンバイナを得た。

この際、slow偏波とfast偏波の両偏波をモニタし、一方の偏波で100%結合、他方の偏波で0%結合するように、延伸条件を最適化した。²⁰

【0055】

このようにして作製した偏波ビームコンバイナの光学特性を図13に示す。

図13の結果から、slow偏波、fast偏波とともに低損失であることが確認された。

【0056】

(比較例3)

図9(b)に示すような、細径化処理を施さないPANDA型光ファイバ10を用意した。PANDA型光ファイバ10は、外径が約 $125\mu\text{m}$ 、2つの応力付与部13、13の外径が約 $36\mu\text{m}$ 、2つの応力付与部13、13の中心を結んだ軸上における応力付与部13、13の近接する外周間の距離が約 $19\mu\text{m}$ 、2つの応力付与部13、13の中心を結んだ軸上における応力付与部13、13の外方のクラッド12の厚みが約 $17\mu\text{m}$ であった。³⁰

【0057】

このPANDA型光ファイバ10を2本用い、必要に応じて、その表面に設けられたプラスチックなどからなる被覆層の一部を除去した後、各々の各偏波軸(slow軸、fast軸)が平行になるように整合させて並列させ、これらのPANDA型光ファイバ10、10の被覆層の一部が除去された部分のクラッド12、12を接触させ、加熱、溶融するとともに、その長さ方向に延伸することによって融着延伸部を形成し、波長 1480nm における偏波ビームコンバイナを得た。

この際、slow偏波とfast偏波の両偏波をモニタし、一方の偏波で100%結合、他方の偏波で0%結合するように、延伸条件を最適化した。⁴⁰

【0058】

このようにして作製した偏波ビームコンバイナの光学特性を図14に示す。

図14から、実施例3と比較すると、損失が大きい上に、slow偏波の挿入損失の波長依存性およびfast偏波の挿入損失の波長依存性の差異が大きく、その適用範囲は限られることが確認された。

【0059】

次に、細径化処理時間(エッチング時間)と光ファイバの外径との関係を図15に示す。

図15から、実施例2の応力付与部23、23の近接する外周間の距離が約 $30\mu\text{m}$ のPANDA型光ファイバ20では、実施例1の応力付与部23、23の近接する外周間の距離が約 $20\mu\text{m}$ のPANDA型光ファイバ20と比較すると、応力付与部23、23をク⁵⁰

ラッド22の表面に露出させるまでの時間は約半分になることが確認された。

【0060】

実施例2のような構造のPANDA型光ファイバ20を用いると、応力付与部23、23の外方のクラッド22を薄くするために必要な細径化処理時間が短くて済み、作業時間を大幅に短縮できる。また、実施例2のPANDA型光ファイバ20では、細径化処理された部分のPANDA型光ファイバ20の外径が100μm以上であるから、取扱いが容易となる。なお、PANDA型光ファイバ20の一部が急激に細くなっていると、その部分において曲がり易くなっているため、丁寧に扱わないと、PANDA型光ファイバ20が折れ易い。そこで、このように、過度に細径化処理を行わないことが望ましい。

10

【0061】

次に、応力付与部がクラッドの表面に露出したPANDA型光ファイバを用いて作製した偏波保持光ファイバカプラと、2つの応力付与部の中心を結んだ軸上において、応力付与部の外方のクラッドを2μm残して細径化処理を施したPANDA型光ファイバとを用いて作製した偏波保持光ファイバカプラの引張強さを比較した。この際の延伸条件は、実施例2に示した波長1550nmにおける分岐比が50%の偏波保持光ファイバカプラと同じ延伸条件とした。

【0062】

各々の偏波保持光ファイバカプラのワイブル強度分布を図16に示す。

図16から、応力付与部をクラッドの表面に露出させた偏波保持光ファイバカプラの破断強度は、応力付与部をクラッドの表面に露出させない偏波保持光ファイバカプラと比較すると、半分以下となることが分かった。したがって、応力付与部の外方には、ある程度、薄膜のクラッドが存在していることが好ましい。

20

【0063】

次に、光ファイバの外径（2本のPANDA型光ファイバのコアの間の距離）と、規格化延伸長との関係を図17に示す。

図17から、PANDA型光ファイバに細径化処理を施した後、加熱、溶融すると、PANDA型光ファイバに細径化処理を施さないものと比較して、規格化延伸長が短くなることが分かった。このことから、PANDA型光ファイバに細径化処理を施して作製した偏波保持光ファイバカプラは、小型化を図ることができる。

30

【0064】

【発明の効果】

以上説明したように、本発明の偏波保持光ファイバカプラは、偏波保持光ファイバのクラッドの一部をエッティング法や研磨法により細径化し、かつ偏波保持光ファイバの細径化した部分で融着延伸部を形成することにより、偏波保持光ファイバカプラの製造工程において過剰損失が増加することなく、優れた光学特性を有するものとなる。このように、偏波保持光ファイバの延伸過程において過剰損失が増加しなければ、従来の偏波保持光ファイバカプラのように延伸していく過程で結合度の変動の周期と過剰損失の変動の周期を調整する工程が必要なくなるので、製造歩留まりを向上することができる。

【0065】

さらに、本発明の偏波保持光ファイバカプラは、過剰損失の波長依存性が低減されるので、使用波長帯域が広い用途にも適したものとなる。

40

また、本発明の偏波保持光ファイバカプラは、基本的な製造方法において、従来の偏波保持光ファイバカプラと同様であるから、生産性に優れている上に、高い信頼性も有している。

【図面の簡単な説明】

【図1】PANDA型光ファイバの2つの応力付与部を結んだ軸（s1ow軸）方向の屈折率分布を示す図である。

【図2】本発明の偏波保持光ファイバカプラの一例を示す斜視図である。

【図3】偏波保持光ファイバカプラの平均挿入損失と応力付与部間隔との関係を示すグラフである。

50

【図4】偏波保持光ファイバカプラの平均破断強度とPANDA型光ファイバの細径化する長さとの関係を示すグラフである。

【図5】偏波保持光ファイバカプラを構成するPANDA型光ファイバの一例を示す断面模式図である。

【図6】偏波保持光ファイバカプラの光の結合度または過剰損失と、PANDA型光ファイバの延伸長との関係を示す図である。

【図7】偏波保持光ファイバカプラの光の結合度または過剰損失と、PANDA型光ファイバの延伸長との関係を示す図である。

【図8】(a)は波長1550nmにおける分岐比が50%の偏波保持光ファイバカプラの光学特性を示すグラフ、(b)はこの偏波保持光ファイバカプラの模式図である。
10

【図9】偏波保持光ファイバカプラを構成するPANDA型光ファイバの一例を示す断面模式図である。

【図10】偏波保持光ファイバカプラの光の結合度または過剰損失と、PANDA型光ファイバの延伸長との関係を示す図である。

【図11】(a)は波長1550nmにおける分岐比が50%の偏波保持光ファイバカプラの光学特性を示すグラフ、(b)はこの偏波保持光ファイバカプラの模式図である。

【図12】偏波保持光ファイバカプラの光の結合度または過剰損失と、PANDA型光ファイバの延伸長との関係を示す図である。

【図13】偏波ビームコンバイナの光学特性を示す図である。

【図14】偏波ビームコンバイナの光学特性を示す図である。

【図15】偏波保持光ファイバの細径化処理時間(エッティング時間)と光ファイバの外径との関係を示す図である。
20

【図16】偏波保持光ファイバカプラのワイブル強度分布を示す図である。

【図17】光ファイバの外径(2本のPANDA型光ファイバのコアの間の距離)と、規格化延伸長との関係を示す図である。

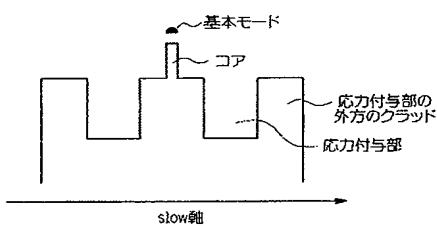
【図18】細径化処理を施していない応力付与部間隔が20μm以下のPANDA型光ファイバの一例を示す断面図である。

【図19】通常のPANDA型光ファイバを用いて作製した偏波保持光ファイバカプラを示す斜視図である。

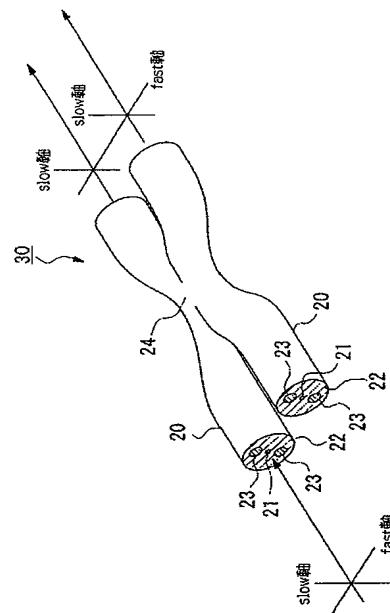
【符号の説明】

20・・・偏波保持光ファイバ、21・・・コア、22・・・クラッド、23・・・応力付与部、24・・・融着延伸部、30・・・偏波保持光ファイバカプラ。
30

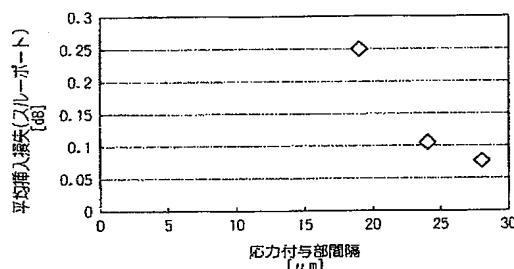
【図 1】



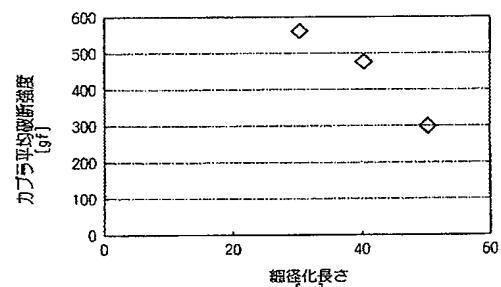
【図 2】



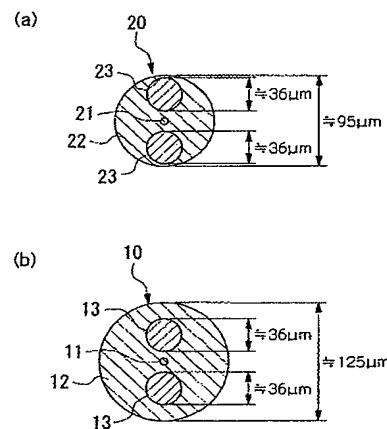
【図 3】



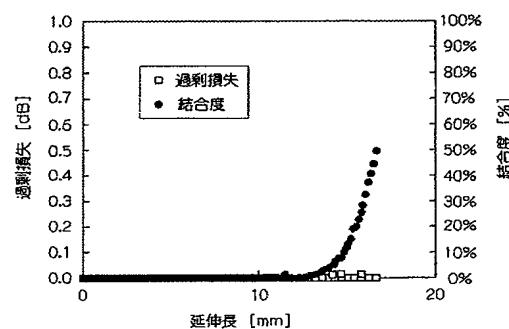
【図 4】



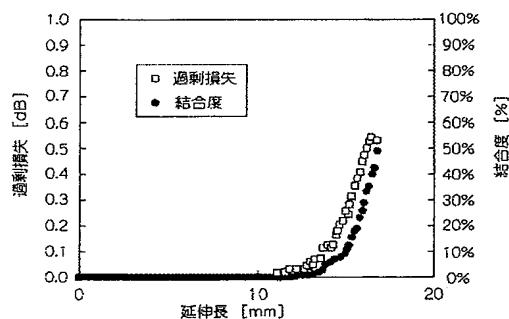
【図 5】



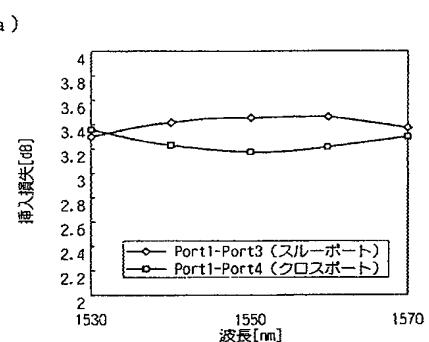
【図 6】



【図 7】



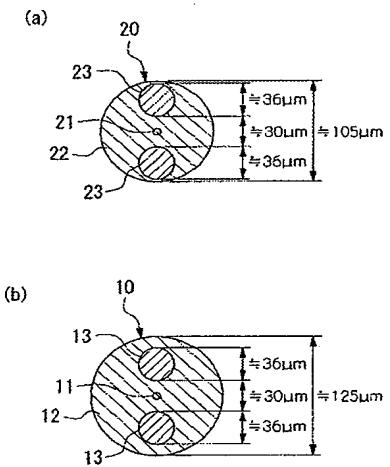
【図 8】



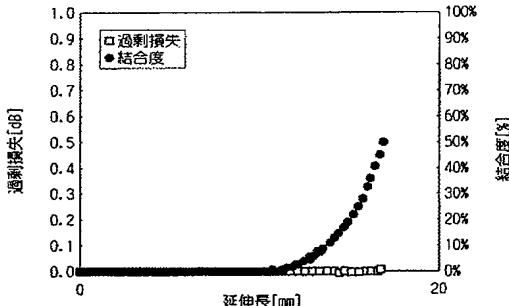
(b)



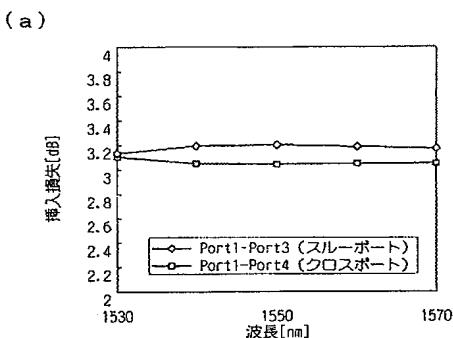
【図 9】



【図 10】



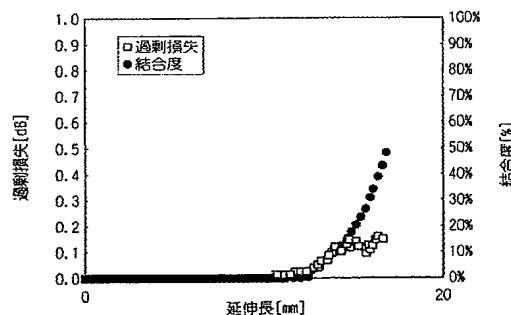
【図 1 1】



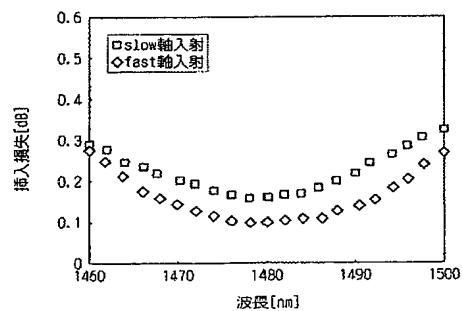
(b)



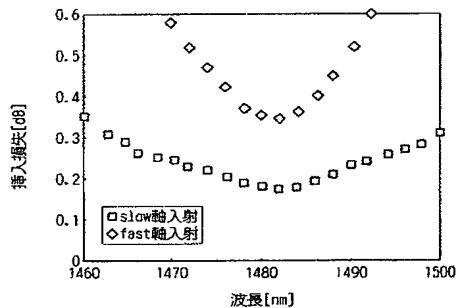
【図 1 2】



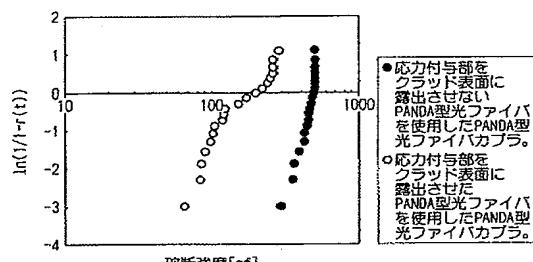
【図 1 3】



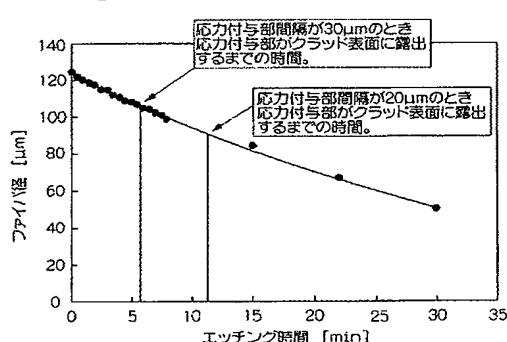
【図 1 4】



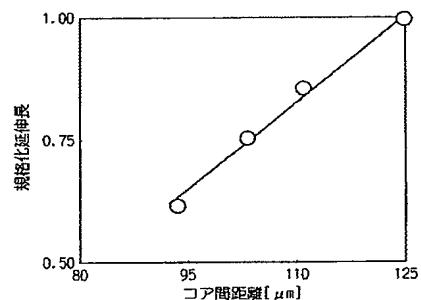
【図 1 6】



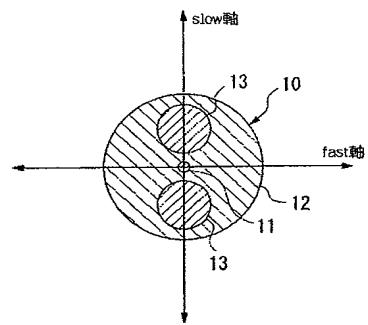
【図 1 5】



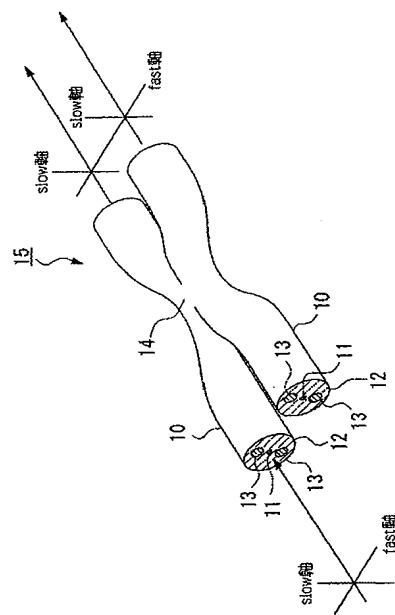
【図 1 7】



【図18】



【図19】



フロントページの続き

(72)発明者 田中 大一郎
千葉県佐倉市六崎1440番地 株式会社フジクラ佐倉事業所内